



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2008

Biegefestigkeit von Verblendkeramiken für Zirkoniumdioxid : hat die Prüfmethode einen Einfluss auf die Werte?

Fischer, J ; Stawarczyk, B ; Hämmerle, C H F

Abstract: Die klinische Zuverlässigkeit von Zirkoniumdioxid-Restorationen wird diskutiert. Das Hauptproblem scheint die erhöhte Frakturnrate der Verblendungen zu sein. Die Festigkeit der Verblendkeramiken ist dabei einer der Faktoren, die die Stabilität der gesamten Restauration bestimmen. Deshalb war es das Ziel der vorliegenden Untersuchung, die Biegefestigkeit von Verblendkeramiken für Zirkoniumdioxid vergleichend zu untersuchen. Die Festigkeitswerte wurden mit drei verschiedenen Messmethoden ermittelt und denjenigen von Verblendmassen für die Metallkeramik gegenübergestellt.

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-11608>

Journal Article

Accepted Version

Originally published at:

Fischer, J; Stawarczyk, B; Hämmerle, C H F (2008). Biegefestigkeit von Verblendkeramiken für Zirkoniumdioxid : hat die Prüfmethode einen Einfluss auf die Werte? *Quintessenz Zahntechnik*, 34(9):1138-1145.

Biegefestigkeit von Verblendkeramiken für Zirkoniumdioxid

Hat die Prüfmethode einen Einfluss auf die Werte?

Jens Fischer, Bogna Stawarczyk, Christoph H. F. Hämmerle

Adresse der Verfasser

Jens Fischer, PD Dr. med. dent. Dr. rer. nat.
Bogna Stawarczyk, Dipl.-Ing. (FH)
Christoph H. F. Hämmerle, Prof. Dr. med. dent.

Klinik für Kronen- und Brückenprothetik, Teilprothetik und zahnärztliche Materialkunde
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Zürich
Plattenstrasse 11, CH-8032 Zürich, Schweiz
E-mail: jens.fischer@zzmk.uzh.ch

Kategorie: Science

Indizes

Verblendkeramik, Biegefestigkeit, Zirkoniumdioxid

Zusammenfassung

Die klinische Zuverlässigkeit von Zirkoniumdioxid-Restaurationen wird diskutiert. Das Hauptproblem scheint die erhöhte Frakturnrate der Verblendungen zu sein. Die Festigkeit der Verblendkeramiken ist dabei einer der Faktoren, die die Stabilität der gesamten Restauration bestimmen. Deshalb war es das Ziel der vorliegenden Untersuchung, die Biegefestigkeit von Verblendkeramiken für Zirkoniumdioxid vergleichend zu untersuchen. Die Festigkeitswerte wurden mit drei verschiedenen Messmethoden ermittelt und denjenigen von Verblendmassen für die Metallkeramik gegenübergestellt.

Summary

The reliability of zirconia all ceramic restorations in clinical use is a concern. The major problem is the chipping of the veneering ceramic. Hence, the strength of the veneering ceramic is one of the parameters influencing the strength of the total reconstruction. The aim of the study was to compare the flexural strengths of veneering ceramics for zirconia. Three different test methods were employed and the results were opposed to those obtained with a metal ceramic system.

Einleitung

Aus klinischen Langzeitstudien ist bekannt, dass Yttrium-stabilisiertes Zirkoniumdioxid eine ausreichende Festigkeit für Brückengerüste bietet.^{9,15} Schwächstes Glied der Kette ist die Verblendkeramik, wobei die häufigste Fehlerursache deren Abplatzen vom Zirkoniumdioxid-Gerüst ist.^{12,13,16} Unter anderem wird das Abplatzen auf eine schlechte Verbundfestigkeit,^{3,5,7} auf eine zu starke innere Spannung in der Verblendmasse aufgrund schlecht adaptierter Wärmeausdehnungskoeffizienten^{1,2} oder auf eine zu große Last aufgrund von Vorkontakten⁶ zurückgeführt.

Innere Spannungen in der Verblendmasse werden während des Abkühlens aufgebaut, sobald Gerüstmaterial und Verblendmasse unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen. Der Wärmeausdehnungskoeffizient sollte so eingestellt sein, dass die Verblendmasse beim Abkühlen leicht unter Druck gesetzt wird. Dazu muss der Wärmeausdehnungskoeffizient der Keramik etwas niedriger sein als derjenige des Gerüsts. So zieht sich der Gerüstwerkstoff beim Abkühlen etwas stärker zusammen, die Verblendmasse kann dieser Schrumpfung nicht vollständig folgen und wird unter Druck gesetzt. Keramische Werkstoffe tolerieren Druckbelastungen deutlich besser als Zugbelastungen. Ursache dieser Eigenart sind Mikrorisse, die verarbeitungsbedingt an der Oberfläche entstehen. Bei Druckbelastung werden diese Risse zugeedrückt, bei Zugbelastung aber aufgeweitet. Dadurch entstehen unter Zug Spannungsspitzen am Rissende, die nicht wie bei Metallen durch plastische Deformationen abgebaut werden können, sondern aufgrund des spröden Verhaltens der Keramik zu Zerstörungen der atomaren Bindungen und damit zur Rissausbreitung führen.

In metallkeramischen Systemen kann eine zu starke Spannung teilweise noch durch eine elastische und bei höheren Temperaturen auch plastische Deformation der metallischen Konstruktion ausgeglichen werden. Zirkoniumdioxid ist spröde und gibt deshalb dem Stress nicht in diesem Ausmaß nach. So ist es denkbar, dass der innere Stress in Verblendungen auf Zirkoniumdioxid Ausmaße annimmt, wie sie bei metallkeramischen Systemen nicht auftreten. Die Summe von innerem und von außen angelegtem Stress führt dann zu einer Fraktur, wenn die Eigenfestigkeit der Verblendmasse überschritten wird. Deshalb ist die Eigenfestigkeit der Verblendmasse ein Parameter, den es bei der Frage nach der Stabilität vollkeramischer Systeme zu berücksichtigen gilt. Metallkeramische Systeme zeigen eine vergleichsweise hohe klinische Zuverlässigkeit mit Versagensraten von 0.34% für Einzelkronen¹⁰ und 2.9% für Brücken.¹¹ Deshalb muss gefordert werden, dass Verblendmassen für Zirkoniumdioxid wenigstens die Eigenfestigkeit von Verblendmassen für Metallkeramik aufweisen sollten.

Die Biegefestigkeit keramischer Werkstoffe kann mit dem Dreipunkt-Biegeversuch bzw. dem

biaxialen Biegeversuch, beide gemäß ISO 6872:1995 (Dentalkeramik) oder dem Vierpunkt-Biegetest gemäß DIN EN 843-1:2007 (Hochleistungskeramik - Mechanische Eigenschaften monolithischer Keramik bei Raumtemperatur - Teil 1: Bestimmung der Biegefestigkeit) gemessen werden. In jedem dieser drei Testmethoden wird eine statische Kraft angelegt und bis zum Bruch erhöht. Im Dreipunkt-Biegeversuch (Abb. 1) wird ein balkenförmiger Prüfkörper mit den Abmessungen $\geq 20 \text{ mm} \times 4 \pm 0.25 \text{ mm} \times 1.2 \pm 0.2 \text{ mm}$ mit der flachen Seite auf zwei Auflagen gelegt, die einen Abstand von 12-16 mm und einen Radius von 0.8 mm aufweisen. Der Prüfkörper wird dann symmetrisch zwischen diesen Auflagen mit einem Stempel belastet, der ebenfalls einen Radius von 0.8 mm hat. Das Stressgebiet im Prüfkörper ist nicht homogen, sondern zeigt direkt unter dem Druckstempel ein Maximum. Im Gegensatz dazu wird beim Vierpunktbiegeversuch (Abb. 2) die Last mit zwei Druckstempeln aufgebracht. Es wird ebenfalls ein balkenförmiger Prüfkörper verwendet, die Abmessungen des Prüfkörpers betragen in diesem Fall aber $\geq 25 \text{ mm} \times 2.5 \pm 0.2 \text{ mm} \times 2 \pm 0.2 \text{ mm}$. Die Radien der Auflagen und Druckstempel betragen 2.5 mm. Die Auflagen sind in einem Abstand von 20 mm parallel zueinander angeordnet, die Druckstempel weisen eine Distanz von 10 mm auf und befinden sich symmetrisch zu den Auflagen. Das Stressgebiet ist in diesem Fall zwischen den beiden Stempeln homogen. Im biaxialen Biegeversuch (Abb. 3) wird eine Scheibe des zu prüfenden Materials in einer Form mit einem Durchmesser von 16 mm geschichtet. Nach dem Brennen wird diese Scheibe auf eine Dicke von $1.2 \pm 0.2 \text{ mm}$ geschliffen und auf drei Kugeln mit einem Durchmesser von 3.2 mm gelegt, die auf einem Kreis mit einem Radius von 5 mm und einem Winkel von jeweils 120° zueinander angeordnet sind. Der Prüfkörper wird im Zentrum mit einem zylinderförmigen Stempel mit einem Durchmesser von 1.2-1.6 mm belastet. Hier entsteht bei Belastung wieder ein Maximum in der Spannung direkt unter dem Stempel. Kanteneffekte, das heißt Fehler im Bereich der Kanten, die zu einem schnellen Risswachstum und damit verbunden zu einem frühen Versagen des Prüfkörpers führen, sind in diesem Versuchsaufbau weitgehend ausgeschlossen, weil die Last im Zentrum aufgebracht wird.⁴ In allen drei Versuchsanordnungen entsteht auf der dem Stempel zugewandten Seite eine Druckspannung, auf der dem Stempel abgewandten Seite, also der Probenunterseite eine Zugspannung. Die Messwerte der einzelnen Versuchsmethoden sind nicht identisch, aber miteinander korreliert.⁸ Im allgemeinen finden sich im Vierpunkt-Biegeversuch niedrigere Werte als im Dreipunkt-Biegeversuch, weil die Wahrscheinlichkeit für die Existenz eines Risses beim Vierpunkt-Biegeversuch mit seinem größeren Spannungsfeld größer ist.

Material und Methode

Die Biegefestigkeit von zehn verschiedenen Verblendmassen (Tab. 1) für Zirkoniumdioxid wurde mittels Dreipunkt-Biegeversuch, Vierpunkt-Biegeversuch und biaxialem Biegeversuch ermittelt. Zum Vergleich wurden drei Verblendkeramiken für die Metallkeramik einbezogen.

Die Prüfkörper wurden nach den Vorgaben der ISO 6872:1995 (Dreipunkt-Biegeversuch und biaxialer Biegeversuch) sowie der DIN EN 843-1:2005 (Vierpunkt-Biegeversuch) hergestellt. Zum Schichten der Prüfkörper wurden teilbare Stahlformen verwendet. Das jeweilige Keramikpulver wurde mit der zugehörigen Flüssigkeit angemischt, in die Form eingefüllt und überschüssige Flüssigkeit mit einem Papier abgesaugt. Für die Herstellung der Prüfkörper wurde ausschließlich Dentinmasse verwendet. Der Brennprozess erfolgte in einem zahntechnischen Keramikofen (Austromat D4, Dekema, Freilassing) entsprechend den Vorschriften der jeweiligen Keramikhersteller (Tab. 2). Die Proben wurden während des Brennens auf einem Brennträger gelagert, der mit einer Schicht Quarzsand bedeckt war. Nach dem Brennen wurden die Proben bis zur gewünschten Dimension mit SiC-Papier der Körnungen P220, P500 und P1200 geschliffen. Die gegenüber liegenden Flächen der Prüfkörper differierten in der Parallelität nicht mehr als 0.05 mm, so wie es in den Normen vorgeschrieben ist. Für jede Messserie wurden zehn Prüfkörper verwendet. Die Abmessung jedes einzelnen Prüfkörpers wurde mit einer Genauigkeit von 0.01 mm gemessen. Die Messung der Biegefestigkeit erfolgte in einer Universalprüfmaschine (Z010, Zwick, Ulm) mit einer Vorschub-Geschwindigkeit von 1mm/min bis zum Bruch (Abb. 4-6). Die Biegefestigkeit wurde als Mittelwert aus den Messwerten von jeweils zehn Prüfkörpern berechnet. Für die Dreipunkt-Biegefestigkeit wurde ein Abstand der Auflagen von 12 mm gewählt. Der Stempel für die biaxiale Biegeprüfung hatte einen Durchmesser von 1.5 mm.

Die statistische Auswertung zwischen den unterschiedlichen Testmethoden und innerhalb einer Testmethode zwischen den unterschiedlichen Keramiken erfolgte mit one-way ANOVA und Scheffé Test (SPSS Inc. Chicago, IL, USA). Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0.05$ festgelegt.

Ergebnisse

Die Messergebnisse der drei Prüfmethoden sind in Abbildung 7 dargestellt. Bei allen Keramiken waren die Messergebnisse der Dreipunkt-Biegefestigkeiten signifikant höher als diejenigen der Vierpunkt-Biegefestigkeiten. Bei Cerabien ZR, Initial ZR und Vintage ZR waren die Dreipunkt-Biegefestigkeiten auch signifikant höher als die biaxialen Biegefestigkeiten, bei Cerabien ZR, Lava Ceram, Rondo Zirconia, Triceram, Zirox und VM13 waren die biaxialen Biegefestigkeiten signifikant höher als die Vierpunkt-Biegefestigkeiten.

Beim Vergleich zwischen den Keramiken zeigte sich, dass VM13 bei allen Prüfmethoden gegenüber allen anderen Keramiken signifikant höhere Festigkeitswerte erreichte.

Während die Festigkeitswerte im Dreipunkt-Biegeversuch keine signifikanten Unterschiede zu den metallkeramischen Verblendmassen IPS d.sign und Reflex zeigten, waren im biaxialen Biegeversuch die Festigkeitswerte von Cerabien ZR und Vintage ZR signifikant niedriger als die Werte der Verblendmassen für die Metallkeramik. Im Vierpunkt-Biegeversuch waren die Werte von Cerabien ZR, Initial ZR, IPS e.max, Lava Ceram, Vintage ZR und Zirox signifikant tiefer als die Werte der Metallkeramik.

Diskussion

Die Messwerte zeigen, dass die Festigkeiten der Verblendmassen für Zirkoniumdioxid im Bereich derjenigen von Verblendmassen für die Metallkeramik liegen oder - je nach Messmethode - höchstens leicht darunter. Da die Unterschiede in der Festigkeit zwischen den einzelnen Keramiken relativ klein sind, kann aus den Ergebnissen keine Empfehlung für eine bestimmte Verblendkeramik abgeleitet werden. Denn neben der Festigkeit gibt es andere Parameter, die für eine klinisch erfolgreiche Rekonstruktion ebenfalls wichtig sind, wie die Gerüstgestaltung, das Zusammenspiel der Wärmeausdehnungskoeffizienten von Verblendmasse und Gerüstwerkstoff, die Löslichkeit der Keramik im Mundmilieu und das ästhetische Potenzial der Keramik. Letztlich ist es sehr entscheidend, wie gut der Techniker mit den jeweiligen Materialien umgehen kann.

Die drei Testmethoden zeigen grundsätzlich die gleiche Reihung der Resultate, der Vierpunktbiegeversuch erlaubt aber die beste Differenzierung zwischen den Festigkeiten der Keramiken. Zur Bestimmung der Biegefestigkeit reicht es also prinzipiell, den Dreipunkt-Biegeversuch zu verwenden, es sei denn es sollen feine Unterschiede zwischen verschiedenen Keramiken herausgearbeitet werden. In diesem Fall ist der Vierpunkt-Biegeversuch zu empfehlen. Die relativen Verhältnisse zwischen den drei Testmethoden decken sich mit Ergebnissen aus der Literatur.^{8,14}

Die Unterschiede in den Messergebnissen der drei Prüfmethoden können wie folgt erklärt werden: Die Wahrscheinlichkeit, einen Riss in der Hauptspannungszone zu finden, der den Bruch auslöst, ist beim Vierpunkt-Biegeversuch am größten, da die Spannung sich zwischen den beiden Druckstempeln aufbaut. Im biaxialen Biegeversuch wird, wie auch im Dreipunkt-Biegeversuch, eher eine lokale Spannung unter dem Druckstempel erzeugt. Deshalb ist die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Risses in der Spannungszone kleiner als im Vierpunkt-Biegeversuch.

Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass sich die in der Literatur beschriebene erhöhte Versagensrate bei Zirkoniumdioxid-Restaurationen aufgrund von Abplatzungen der Verblendmasse nicht mit einer geringen Festigkeit der Verblendmassen erklären lässt, da deren Festigkeitswerte in der gleichen Größenordnung liegen wie bei Verblendmassen für die Metallkeramik. Als Erklärung ist eher an ein Problem bei der Abstimmung der Wärmeausdehnungskoeffizienten zu denken, wie dies auch von anderen Autoren vermutet wird.^{1,2}

Die einzelnen Prüfmethoden liefern unterschiedliche Festigkeitswerte, weshalb bei einem Vergleich der Daten immer auch die Prüfmethode berücksichtigt werden muss.

Literatur

1. Aboushelib MN, de Jager N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. *Dent Mater* 2005;21:984-991.
2. Aboushelib MN, de Jager N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Effect of loading method on the fracture mechanics of two layered all-ceramic restorative systems. *Dent Mater* 2007;23:952-959.
3. al-Shehri SA, Mohammed H, Wilson CA. Influence of lamination on the flexure strength of dental castable ceramic. *J Prosthet Dent* 1996;76:23-28.
4. Anusavice KJ, Kakar K, Ferree N. Which mechanical and physical testing methods are relevant for predicting the clinical performance of ceramic-based dental prostheses? *Clin Oral Impl Res* 2007;18:218-231.
5. De Jager N, Pallav P, Feilzer AJ. The influence of design parameters on the FEA-determined stress distribution in CAD-CAM produced all-ceramic crowns. *Dent Mater* 2005;21:242-251.
6. Drummond JL, King TJ, Bapna MS, Koperski RD. Mechanical property evaluation of pressable restorative ceramics. *Dent Mater* 2000;16:226-233.
7. Isgro G, Pallav P, van der Zel JM, Feilzer AJ. The influence of the veneering porcelain and different surface treatments on the biaxial flexure strength of a heat-pressed ceramic. *J Prosthet Dent* 2003;90:465-473.
8. Jin J, Takahashi H, Iwasaki N. Effect of test method on flexural strength of recent dental ceramics. *Dent Mater J* 2004;23:490-496.
9. Lüthy H, Filser F, Loeffel O, Schuhmacher M, Gauckler LJ, Hämmerle CHF. Strength and reliability of four unit all-ceramic posterior bridges. *Dent Mater* 2005;21:930-937.
10. Pjetursson BE, Sailer I, Zwahlen M, Hämmerle CHF. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: single crowns. *Clin Oral Implant Res* 2007;18:73-85.

11. Pjetursson BE, Sailer I, Zwahlen M, Hämmerle CHF. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: fixed partial dentures. Clin Oral Impl Res 2007;18: 86-96.
12. Sailer I, Fehér A, Filser F, Gauckler LJ, Lüthy H, CHF Hämmerle. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. Int J Prosthodont 2007;20:383-388.
13. Sailer I, Fehér A, Filser F, Lüthy H, Gauckler LJ, Schärer P, CHF Hämmerle. Prospective clinical study of zirconia posterior fixed partial dentures: 3-year follow-up. Quintessence Int 2006;37:685-693.
14. Shetty DK, Rosenfield AR, Duckworth WH, Held PR. A Biaxial-flexure test for evaluating ceramic strengths. J Amer Ceram Soc 1983;66:36-42.
15. Sturzenegger B, Fehér A, Lüthy H, Schärer P, Gauckler LJ. Reliability and strength of all-ceramic dental restorations fabricated by direct ceramic machining (DCM). Int J Comput Dent 2001;4:89-106.
16. Vult von Steyern P, Carlson P, Nilner K. All-ceramic fixed partial dentures designed according to the DC-Zirkon technique. A 2-year clinical study. J Oral Rehab 2005;32:180-187.

Tabellen

Tab. 1. Liste der verwendeten Verblendkeramiken. Keramiken für die Technik der Metallkeramik sind grau unterlegt.

Verblendkeramik	Hersteller
Cerabien ZR	Noritake, Nagoya, Japan
Creation ZI	Metalordental, Oensingen, Schweiz
IPS e.max	Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein
Initial ZR	GC, Tokyo, Japan
Lava Ceram	3M Espe, Seefeld
Rondo Zirconia	Nobel Biocare, Gothenborg, Schweden
Triceram	Dentaurum, Ispringen
Vintage ZR	Shofu, Kyoto, Japan
Vita VM9	Vita, Bad Säckingen
Zirox	Wieland, Pforzheim
Reflex	Wieland, Pforzheim
IPS d.sign	Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein
Vita VM13	Vita, Bad Säckingen

Tab. 2. Brennprogramme für die einzelnen Keramiken. Während des gesamten Aufheizprozesses wurde jeweils Unterdruck erzeugt. Keramiken für die Technik der Metallkeramik sind grau unterlegt.

Verblendkeramik	Vortrocknen		Heizrate (°C/min)	Brenntemperatur (°C)	Haltezeit (min)
	Temperatur (°C)	Zeit (min)			
CerabienZR	600	5	45	930	1
Creation ZI	450	6	45	810	1
IPS e.max	400	4	50	750	1
Initial ZR	400	6	45	780	1
LavaCeram	450	6	45	800	1
Rondo Zirconia	575	5	45	925	1
Triceram	500	6	55	760	2
Vintage ZR	650	6	45	920	1
VM9	500	6	55	910	1
Zirox	575	3	45	900	2
Reflex	575	7	75	900	2
IPS d.sign	403	6	60	869	1
VM13	500	6	55	880	1

Abb. 1. Schematische Darstellung des Dreipunkt-Biegeversuches.

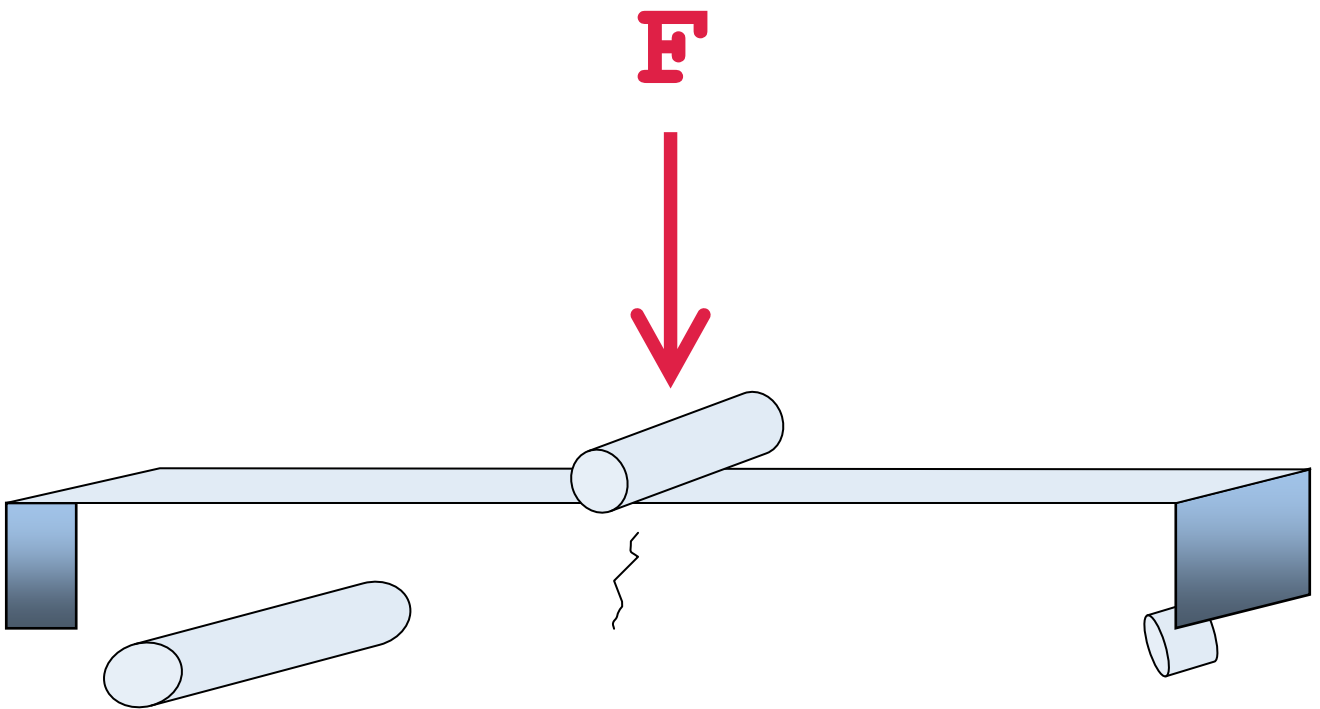


Abb. 2. Schematische Darstellung des biaxialen Biegeversuches.

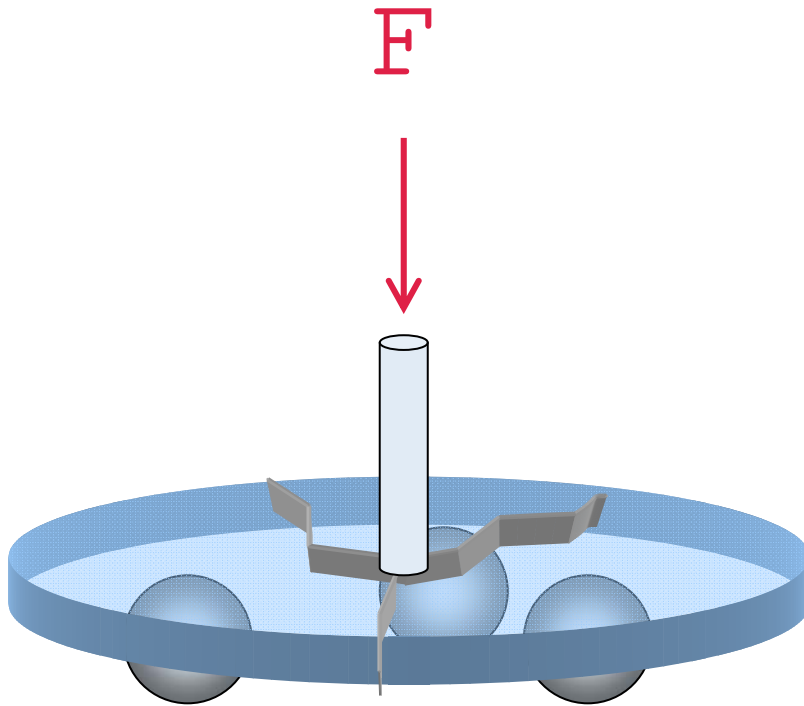


Abb. 3. Schematische Darstellung des Vierpunkt-Biegeversuches.

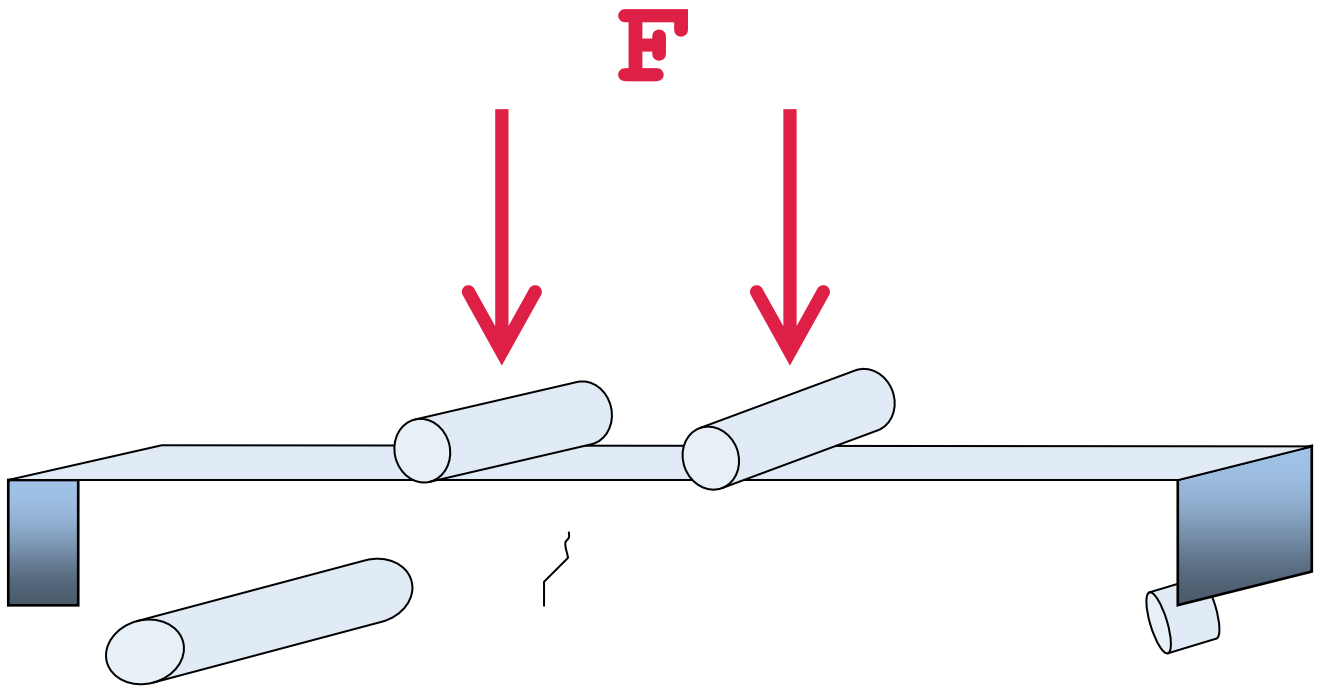


Abb. 4. Versuchsaufbau Dreipunktbiegeversuch.

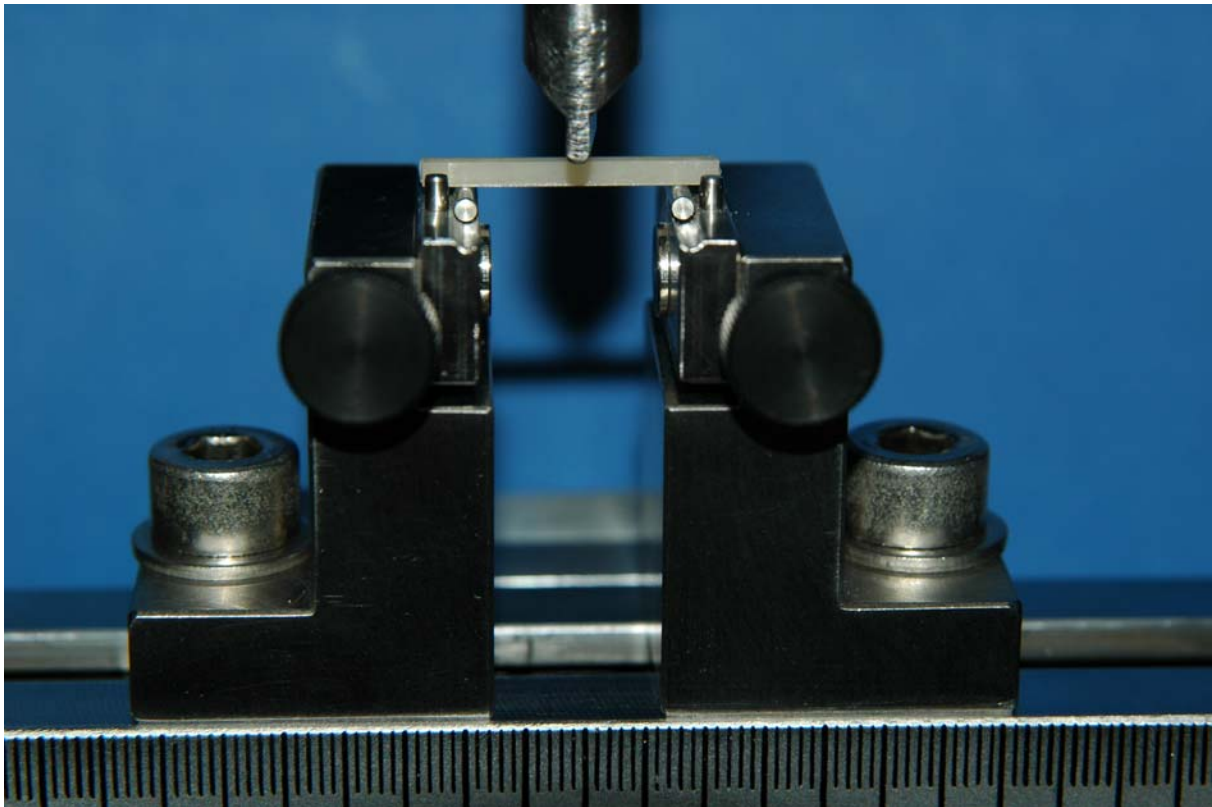


Abb. 5. Versuchsaufbau biaxialer Biegeversuch.

a: vor der Messung, Prüfkörper intakt

b: nach der Messung, Prüfkörper zerbrochen



Abb. 6. Versuchsaufbau Vierpunkt-Biegeversuch.

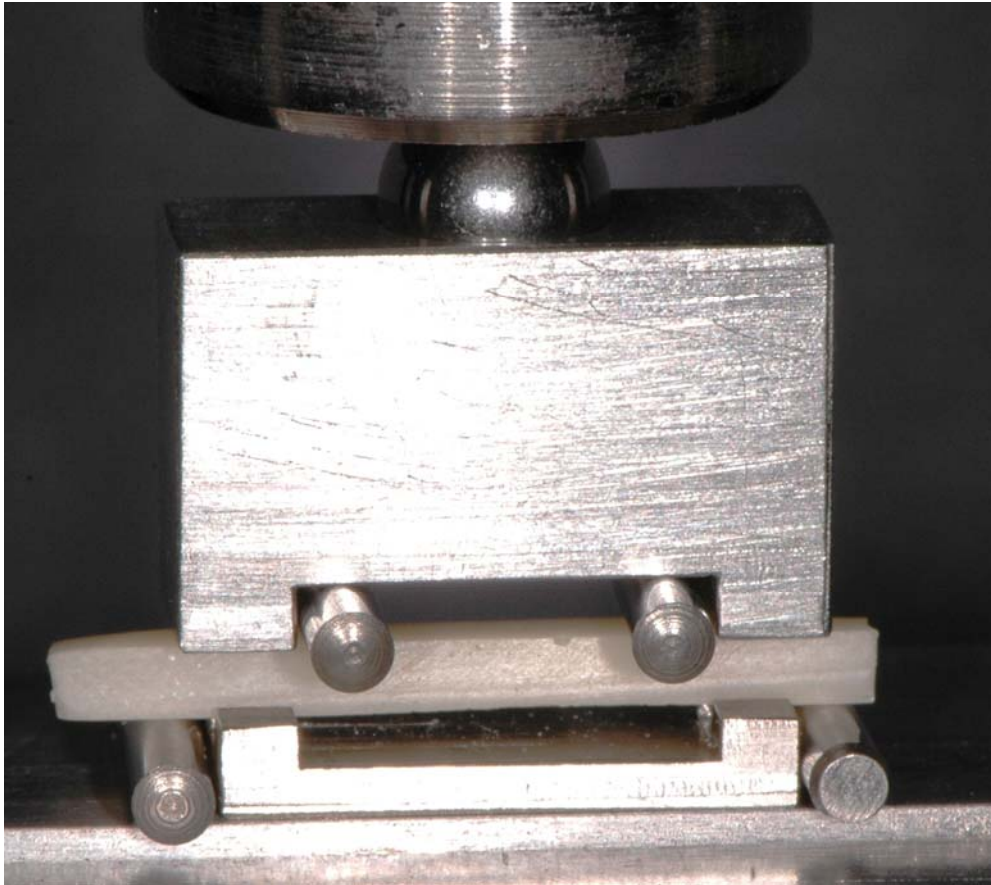


Abb. 7. Biegefestigkeiten der untersuchten Verblendmassen.

